干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.05.20

黑河上游天涝池流域典型灌木生态参数研究①

李文娟[1]， 黄力平[2]， 赵传燕[3]， 胡东宇[2]， 王清涛[4]

（1 达坂城区人民政府办公室,新疆 乌鲁木齐 830000； 2 新疆林业科学院现代林业研究所,新疆 乌鲁木齐 830000；
3 兰州大学草地农业科学技术学院草地农业生态系统国家重点实验室,甘肃 兰州 730000；
4 河北工程大学园林与生态工程学院,河北 邯郸 056038）

摘 要: 祁连山自然保护区是河西地区重要的水源涵养区,而灌丛作为祁连山主要植被类型之一,对该区水源涵养功能具有举足轻重的作用。以黑河上游天涝池流域两种典型亚高山灌木为研究对象,基于2014、2015年野外观测和ArcGIS10.1分析功能,获得灌木生长季期间生态参数(叶面积、叶面积指数和比叶面积)的变化;同时,结合分辨率为0.5 m×0.5 m的LiDAR数据和Geoeye-1影像数据,估算研究区灌木叶面积指数的空间分布。研究结果表明:灌木在生长季期间比叶面积值在一定范围内波动;叶面积、叶面积指数变化较大。其中,在6、7月份增加最明显,8月份趋于稳定,9月份叶片开始凋落。其次,随海拔梯度水热条件的不同,流域灌木叶面积指数空间异质性较大,以海拔3 400 m为节点,在3 200~3 400 m海拔带叶面积指数呈递增趋势,在3 400~3 750叶面积指数呈递减趋势。

关 键 词: 黑河上游; 灌木; 生态参数; 生长季
中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:**

灌木作为我国陆地生态系统中重要植被类型,其总面积约为 2×10^{8} hm^2,占我国陆地总面积的20%[1]。由于灌木植被类型丰富、生产力高、萌生力强、适生范围广等特点,使其在我国西部地区大量分布,因此,灌木在维护我国西北地区生态安全方面扮演着不可或缺的角色[2],如在水源涵养、水土保持、防风固沙以及调节和稳定河川径流等[3-4]方面发挥着重大的作用,同时对区域生态保护、恢复、重建和维持生态平衡具有深远意义[5]。

我国灌木研究始于20世纪80年代,早期主要研究灌木生物量,如姜凤岐[6]、王启基[7]、刘存琦[8]和张峰[9]等人研究估算了灌木生物量;王伟民[10]和唐艳[11]等人研究了灌木生态系统服务功能和阻沙能力;灌木林冠具有较强的截留降水能力,能有效削减降雨对地表的冲击力和地表径流的流动速度,增加土壤入渗能力,具有良好的水源涵养功能[12-14],众多学者选取灌木研究其生态水文效应,如WANG Xinping[15]、刘章文[16]、JIAN Shengqi[17]、常学向[18]和岳祥飞[19]等人研究不同类型灌木降雨截留特征。近几年,随着各种生态模型的发展,以生态参数为基础,空间精细化模型的发展和基于过程的分布式模拟技术的应用成为研究的焦点和热点,生态参数的精准性和动态性直接影响模型估算的准确性[20]。如叶面积指数是研究许多关键生态过程(如叶片光合作用、呼吸作用、冠层对降水的截留及水分蒸腾、冠层中太阳辐射的传递、冠层下土壤水分的蒸发等)的基础,在基于过程的生态系统模型模拟和定量遥感分析中,描述生态参数季节动态的能力直接决定着植被与大气界面物质、能量交换的可靠性和准确性,因此研究植被动态参数是连接不同尺度生态过程的主要桥梁之一,快速准确地获取某一区域的生态参数,可为植被恢复、全球气候变化与植被经营管理等提供基础数据[21-23]。

灌木是黑河上游主要植被之一,其面积大约有 6.5×10^{5} hm^2,占区域林业用地总面积的71.5 %左右,是黑河流域水源涵养林的重要组成部分。本文

① **收稿日期:** 2018-03-22; **修订日期:** 2018-06-28
基金项目: 国家青年基金项目(41605047);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050202)
作者简介: 李文娟(1989-),女,硕士,研究方向为生态水文. E-mail: liwj12@lzu.edu.cn
通讯作者: 黄力平(1979-),男,副研究员,研究方向为林业可持续发展、林业应对气候变化. E-mail: hhupp2003@126.com

选择黑河上游天涝池典型亚高山灌木金露梅(*Dasiphora fruticosa*)和鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)为研究对象,研究叶片生态参数(叶面积指数、叶面积和比叶面积)的变化,同时结合研究区机载激光雷达数据估算研究区灌木叶面积指数空间分布,以期为流域其他生态模型研究提供基础数据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

黑河发源于祁连山地区,流域在行政区域隶属于青海省和甘肃省。黑河上游植被类型丰富,随着海拔梯度的变化,各梯度带水热条件不同,使得植被类型呈现垂直分异的空间特征,属山地森林草原类型。流域主要植被类型包括乔木林、灌木林、高山草甸和干草原(图1),在海拔4 000～4 500 m高度带主要以高山垫状植被带为主,在3 800～4 000 m海拔带主要分布有高山草甸植被类型;在3 200～3 750 m海拔带主要生长着灌木金露梅(*Dasiphora fruticosa*)和鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*);在2 800～3 200 m海拔带主要为乔木林,乔木类型有青海云杉(*Picea crassifolia*),主要分布在2 600～3 400 m的阴坡,祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)分布在2 600～3 400 m的阳坡;在2 300～2 800 m海拔带主要为山地干草原带。土壤类型随着植被类型的不同而不同,主要有高山寒冷荒漠土、高山草甸土、山地草甸草原土、山地草原土和山地森林土。

1.2 研究方法

(1)叶面积和比叶面积(Specific leaf area,*SLA*)数据测量方法:在灌木生长季6～9月,选取人为干扰度较少具有代表性的灌木,设置3 m×3 m的样地。每隔3 d采集灌木(金露梅和鬼箭锦鸡儿)叶片一次,将其叶片摘下平铺在20 cm×20 cm的玻璃板上,记录叶片的个数,采用数码相机对其进行垂直拍照。通过ArcGIS软件空间分析功能对拍摄的照片进行处理,获得灌木单个叶面积数据,将拍完照的叶片收集,置于80 ℃恒温箱48 h,获得叶生物量,通过公式(1)计算获得灌木生长季比叶面积数据。

$$比叶面积 = 叶面积/叶生物量 \quad (1)$$

(2)叶面积指数(Leaf area index)测量方法:在灌木样地特定地点每隔5 d测定金露梅和鬼箭锦鸡儿叶面积指数,测量仪器为美国Li-cor公司生产的AccuPAR-LP 80。

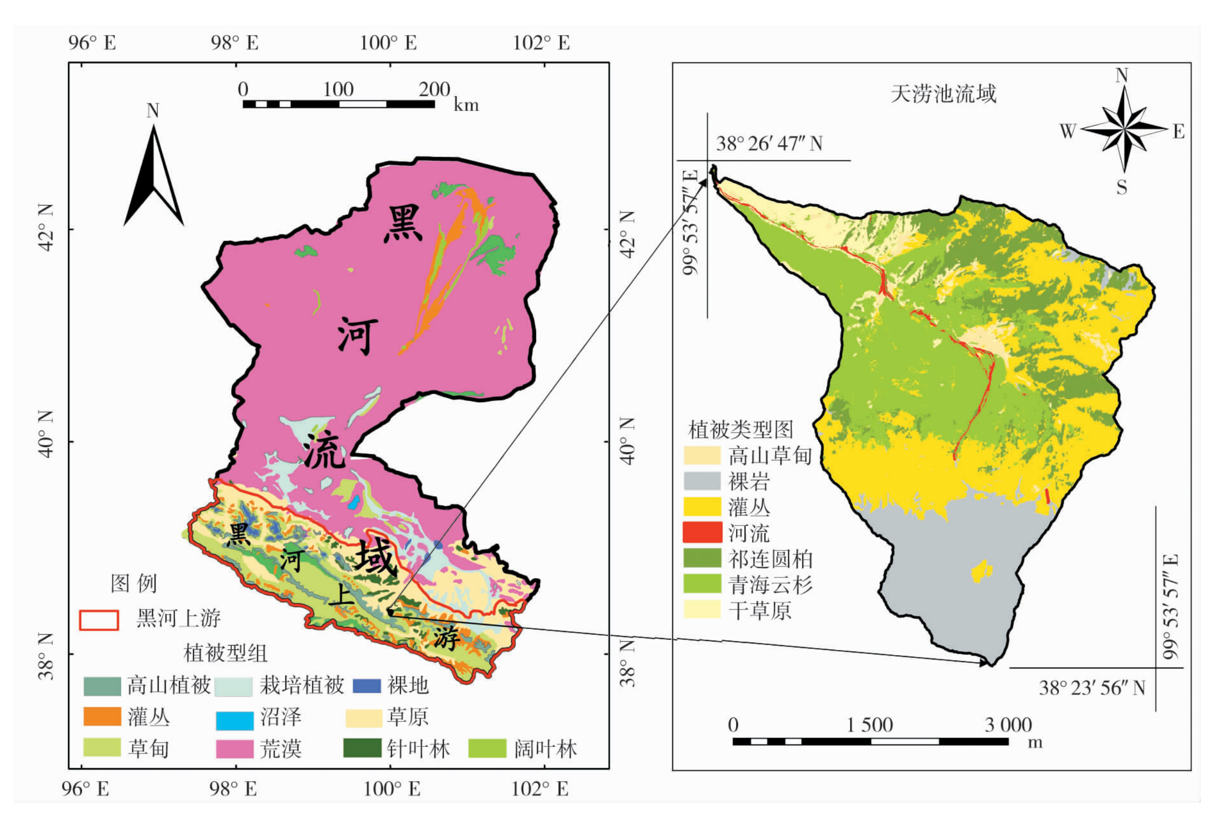


图1 研究区概况

Fig. 1 Information in the study area

(3) 叶面积指数空间估算方法:在流域不同海拔和坡向位置随机设置 1 m×1 m 的样方 71 个,从不同方位多次测量叶面积指数,获得样方叶面积指数数据;记录样方内灌木类型,并测量其丛高和冠幅周长,结合梁倍等人[24]已构建的研究区典型灌木地上生物量与各自易测因子(丛高和冠幅周长)之间的最优关系式,估算出样方灌木地上生物量,继而构建样方叶面积指数和生物量最优关系。李文娟等人[25]已估算出流域灌木地上生物量空间分布,通过构建的关系式获得研究区灌木叶面积指数空间分布。

1.3 数据处理

利用 Excel 软件对数据进行初步处理,运用 SPSS 19.0 、SigmaPlot 12.5 软件对数据进行相关分析和作图。

2 实 验

2.1 灌木在生长季叶面积变化规律

研究金露梅和鬼箭锦鸡儿在生长季叶面积变化,结果如图 2 所示,灌木叶面积从生长初期到生长末期发生明显变化,且 6、7 月份灌木叶面积变化最为明显。金露梅叶面积生长初期为 0.13 cm^2·片$^{-1}$,生长末期为 0.70 cm^2·片$^{-1}$,叶面积增加了 5 倍;鬼箭锦鸡儿叶面积生长初期为 0.23 cm^2·片$^{-1}$,生长末期叶面积为 0.59 cm^2·片$^{-1}$,叶面积增加了 2 倍。

2.2 灌木在生长季叶面积指数变化规律

研究区典型灌木在生长季期间的叶面积指数变化如图 3 所示,金露梅叶面积指数从生长初期1.23,增加到生长末期 4.3;鬼箭锦鸡儿叶面积指数从生长初期的0.56 ,增加到生长末期 2.86 ,金露梅灌木叶面积指数变化高于鬼箭锦鸡儿灌丛。

2.3 灌木在生长季比叶面积变化

研究区灌木生长季期间比叶面积变化(图 4),由图可知,金露梅和鬼箭锦鸡儿比叶面积分别在 120 ~ 132 cm^2·g^{-1}之间和 101 ~ 112 cm^2·g^{-1}之间,金露梅比叶面积平均值为 127 cm^2·g^{-1};鬼箭锦

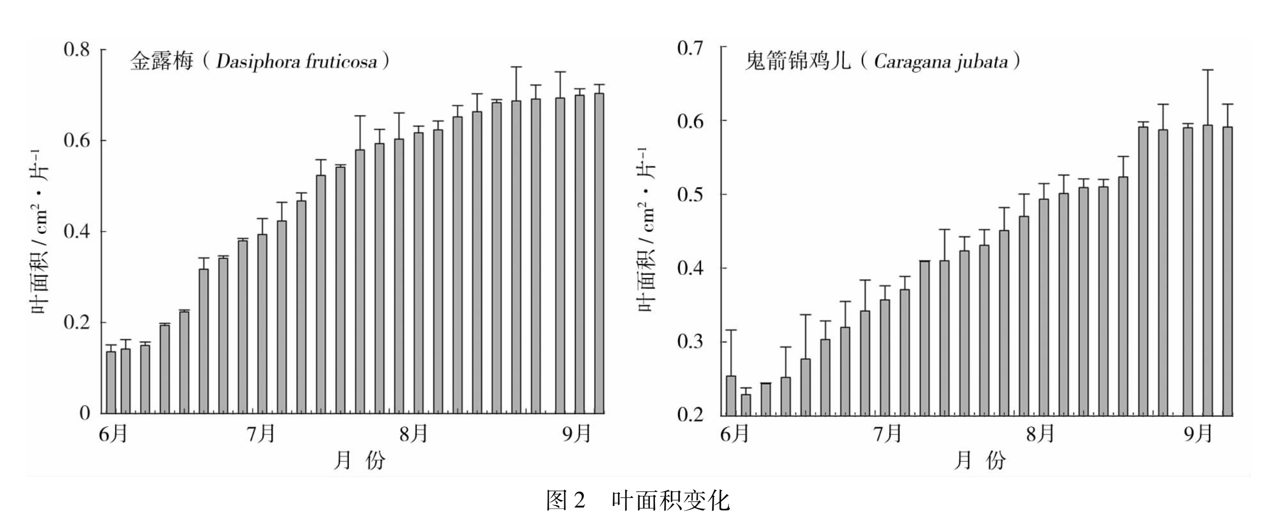


图 2 叶面积变化

Fig. 2 Change of leaf area

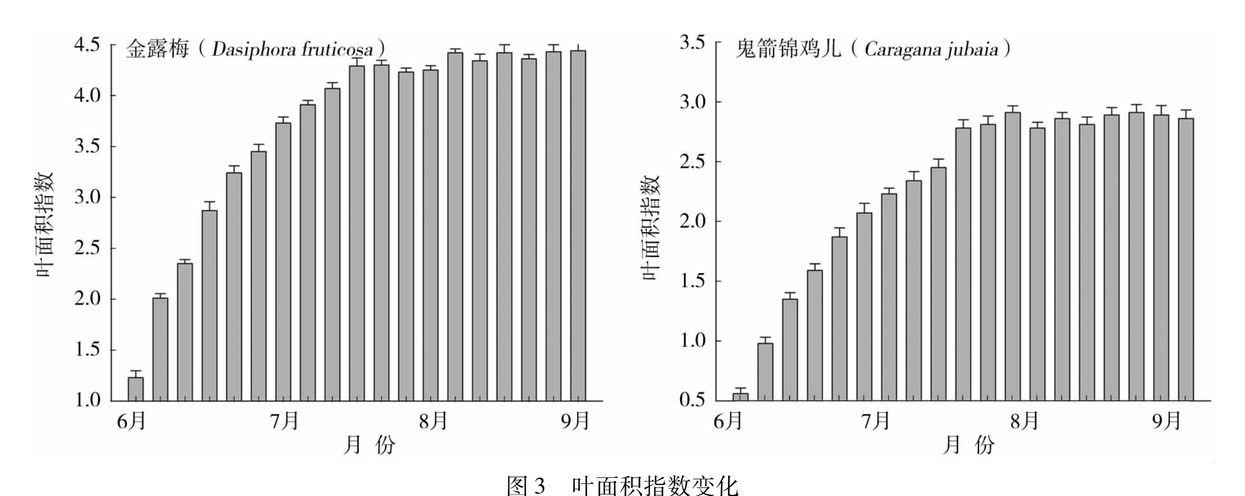


图 3 叶面积指数变化

Fig. 3 Change of leaf area index

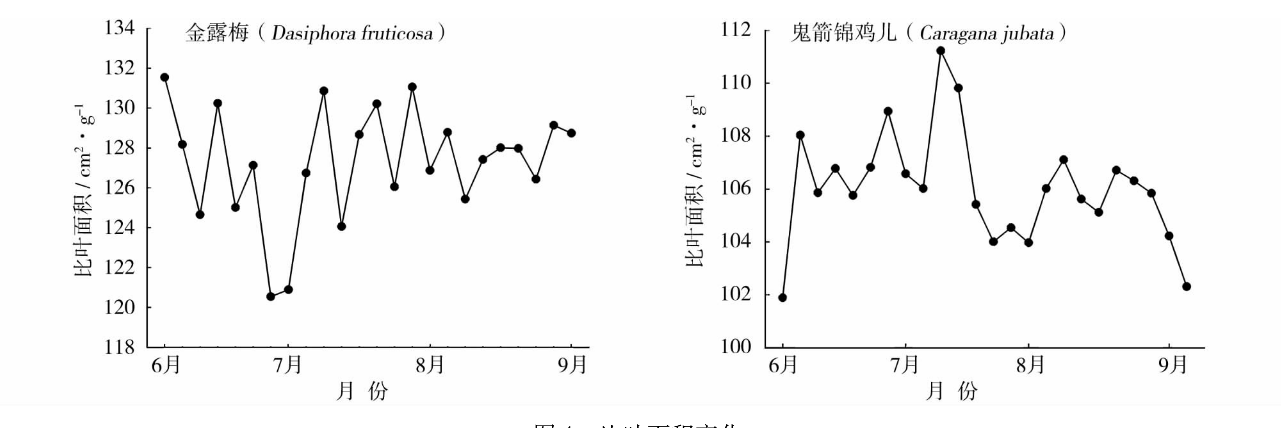


图 4　比叶面积变化

Fig. 4　Change of specific leaf area

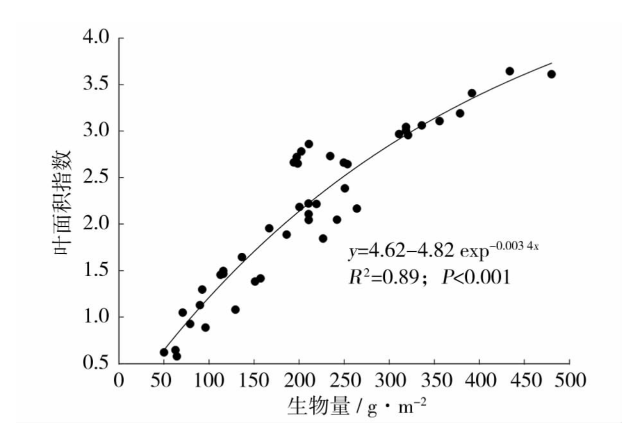


图 5　灌丛地上生物量与叶面积指数关系

Fig. 5　Relationship between aboveground biomass and leaf area index

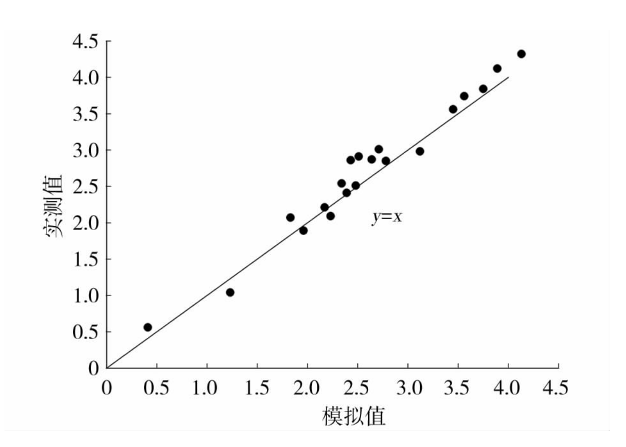


图 6　叶面积指数实测值和模拟值散点图

Fig. 6　Scatter plot between measured and simulated of leaf area index

鸡儿比叶面积平均值为 106 $cm^2 \cdot g^{-1}$。

2.4　流域灌木叶面积指数的空间分布

将野外采集的 71 个灌木样方数据，51 组数据用于建立灌木地上生物量和叶面积指数关系式，结果如图 5，灌木地上生物量与叶面积指数呈指数关系，拟合效果较好。利用剩余 20 组数据对模型进行检验，结合实测值和依据模型估算值作散点图，并添加 $y=x$ 线（图 6），由图 6 可知，实测值与估测值基本都在 $y=x$ 线附近，因此该模型可以用于灌木叶面积指数的估算，结合研究区已估算的灌木地上生物量空间分布，通过 ArcGIS10.1 空间分析和叠置分析工具，估算出研究区灌木叶面积指数的空间分布（图 7）。流域灌木叶面积指数空间异质性较大，其值在 0 ~ 4.16 之间，平均值为 2.56。结合研究区 DEM 影像，分析可得研究区灌木叶面积指数随海拔梯度先增加后减小，在 3 200 ~ 3 400 m 海拔带，随着海拔梯度的增加灌木叶面积指数在增加，在 3 400 ~

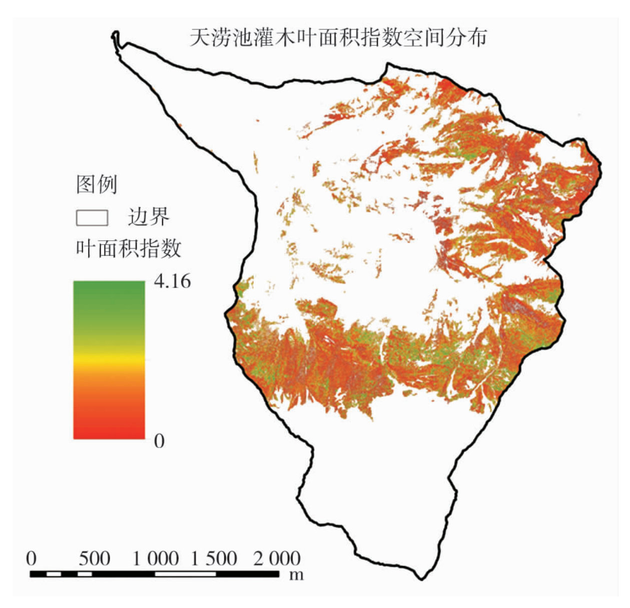


图 7　灌丛叶面积指数的空间分布

Fig. 7　Spatial distribution of shrub leaf area index

3 750 m 海拔带，随着海拔梯度的增加灌木叶面积指数在减小。主要因素为不同海拔梯度带水热条件

的不同造成灌木生长状况存在明显差异。

3 结 论

（1）首先,国内外对生态参数的动态研究比较罕见,灌木生态参数变化随生长季水热条件的不同有较大差异[26],本研究将为其他研究者提供参考;其次,本次研究中利用图像处理技术获得了叶面积数据,使得生态参数描述由定性到定量,是3S技术在生态学中应用的又一体现;最后,生态参数作为模型驱动的基础,其准确性直接影响模型估算的精确度,本文对灌木生长季生态参数的研究,将为流域生态模型的驱动提供准确数据。

（2）本文初步探索利用0.5 m×0.5 m分辨率的LiDAR数据结合Geoeye－1影像,估算灌木叶面积指数的空间分布格局,前期作者基于机载LiDAR数据较准确的反演出流域灌木地上生物量的空间分布,通过野外采样构建地上生物量与叶面积指数关系,使得估算区域灌丛叶面积指数的空间分布格局成为可能。该数据作为基础数据为灌木生态水文的空间研究提供可能。

4 讨 论

（1）笔者检索发现:目前研究焦点主要集中于乔木生态参数动态研究,如,GAYDAROVA[27]研究保加利亚栎树叶面积指数空间和时间变化,研究表明随着温度和水分条件的变化,栎树叶面积指数空间异质性明显,变化值在1.43～3.21之间;BLUMEL[28]通过NOAA-AVHRR数据估算了Baltimos地区叶面积指数,其在5月份变化范围为2～3,7月份变化范围4～8;苏宏新等[29]研究3类典型温带山地森林叶面积指数的动态变化,研究表明在生长季的期间,7月份叶面积指数达到峰值,9月出现明显下降。柳艺博等人[30]研究2000—2001年中国森林叶面积指数时空变化特征,指出中国森林*LAI*呈现明显的季节性变化,夏季最高、春秋季次之、冬季最低,这与我国的温度、降水和太阳辐射的季节性变化特征一致,适宜的温度和丰沛的降水,使得森林旺盛生长,*LAI*快速增长,达到一年中的最大值,*LAI*的动态变化受水热条件影响明显。以上研究结果表明,在生长季期间,植被生态参数先增加后减小,峰值出现在最适水热条件环境下。

（2）近年来,随着遥感技术的快速发展,通过尺度上推法,使得大区域生态参数的研究成为可能,VAN[31]利用机载雷达数据对森林结构参数进行反演;骆社周[32]基于机载激光雷达数据对祁连山大野口流域森林叶面积指数进行反演;李文娟[33]利用机载雷达数据对黑河上游天涝池流域森林植被参数进行反演;鞍华安[34]对三江平原湿地植被叶面积指数进行遥感估算;周梦维[35]对张掖地区4块玉米地叶面积指数定量反演。以上学者,利用不同卫星影像对不同区域森林植被结构参数进行反演,然而对于灌木结构参数的反演比较罕见,究其原因主要由于灌木植被比较低矮,需要高精度影像数据;其次灌木植被种类多样,适生能力较强,在同一流域可能分布多种类型的灌木,增加了数据处理的难度。因此该研究的实施可以为流域其它生态模型驱动提供基础数据。

参考文献(References)

[1] 胡会峰,王志恒,刘国华,等.中国主要灌丛植被碳储量[J].植物生态学报2006,30(4):539－544.[HU Huifeng,WANG Zhiheng,LIU Guohua,et al. Vegetation carbon storage of major shrubands in China[J]. Journal of Plant Ecology,2006,30(4):539－544.]

[2] 姜凤岐,杨瑞英,林鹤鸣.灌丛在"三北"防护林体系中的效益评价[J].生态学杂志,1988,7(3):7－11.[JIANG Fengqi,YANG Ruiying,LIN Heming. Evaluation on the efficiency of shrubs in shelter-forest system in"Three Norths"[J]. Journal of Ecology,1988,7(3):7－11.]

[3] 王学福.灌木林在祁连山区的作用及其发展策略研究[J].甘肃林业科技,2005,30(2):32－35.[WANG Xuefu. The importance of shrub in Qilian Mountain and its protection and development countermeasure[J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technology,2005,30(2):32－35.]

[4] 金铭,李毅,王顺利,等.祁连山高山灌丛生物量及其分配特征[J].干旱区地理,2012,35(6):952－958.[JIN Ming,LI Yi,WANG Shunli,et al. Alpine shrubs biomass and its distribution characteristics in Qilian Mountains[J]. Arid Land Geography,2012,35(6):952－958.]

[5] 刘长秀,张宏,泽柏.灌丛对川西北高寒草甸土壤资源的影响[J].山地学报,2006,24(3):357－365.[LIU Changxiu,ZHANG Hong,ZE Bai. Effect of shrub on the alpine meadow soil ecosystem in the northweatern plateau of Sichuan Province,China[J]. Journal of Mountain Scinence,2006,24(3):357－365.]

[6] 姜凤岐,卢凤勇.小叶锦鸡儿灌丛地上生物量的预测模式[J].生态学报,1982,2(2):103－110.[JIANG Fengqi,LU Fengyong. The model of estimating above-ground biomass of *Caragana microphylla brush*[J]. Acta Ecologica Sinica,1982,2(2):103－110.]

[7] 王启基,周兴民,张堰清,等.青藏高原金露梅灌丛的结构特征及其生物量[J].西北植物学报,1991,11(4):333－340.

[WANG Qiji, ZHOU Xingmin, ZHANG Yanqing, et al. Structure characteristics and biomass of potentilla fruticose shrub in Qinghai-Xizang Plateau[J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 1991, 11(4): 333-340.]
[8] 刘存琦. 灌木植物量测定技术的研究[J]. 草业学报, 1994, 3(4): 61-65. [LIU Cunqi. The study on techniques in determining shrub phytomass[J]. Acta Agrestia Sinica, 1994, 3(4): 61-65.]
[9] 张峰, 上官铁梁, 李素珍. 关于灌木生物量建模方法的改进[J]. 生态学杂志, 1993, 12(6): 67-69. [ZHANG Feng, SHANGGUAN Tieliang, LI Suzhen. Improvement on the modelling method of biomass of brush[J]. Chinese Journal of Ecology, 1993, 12(6): 67-69.]
[10] 王伟民, 祝令辉, 任鸿昌. 中国西部地区灌丛生态系统服务功能效益评估[J]. 林业资源管理, 2008, (4): 124-127. [WANG Weimin, ZHU linghui, REN hongchang. Assessment of shrub ecosystem service benefits in weatern China[J]. Forest Resources Management, 2008, (4): 124-127.]
[11] 唐艳, 刘连友, 哈斯, 等. 毛乌素沙地南缘3种灌草丛形态与阻沙能力的对比研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 44-48. [TANG Yan, LIU Lianyou, HA Si, et al. Comparison on morphology and sand trapping capability of three shrubs in south edge of Mu Us Sand Land[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(2): 44-48.]
[12] NAVAR J, BRYAN R. Interception loss and rainfall redistribution by three semi-arid growing shrubs in northeastern Mexico[J]. Journal of Hydrology, 1990, 115(1): 51-63.]
[13] BAIRD, ANDREW J., ROBERT L. WILBY. Eco-hydrology: Plants and water in terrestrial and aquatic environments[J]. Psychology Press, 1999.
[14] BLACK P E. Watershed hydrology[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1991.
[15] WANG Xinping, ZHANG Yafeng, WANG Zhengning, et al. Influence of shrub canopy morphology and rainfall characteristics on stemflow within a revegetated sand dune in the Tengger Desert, NW China[J]. Hydrological Process, 2013, 27: 1501-1509.
[16] 刘章文, 陈仁升, 宋耀选, 等. 祁连山典型灌丛降雨截留特征初步研究[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1337-1346. [LIU Zhangwen, CHEN Rensheng, SONG Yaoxuan, et al. Characteristics of rainfall interception for four typical shrubs in Qilian Mountain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1337-1346.]
[17] JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, FANG Shumin, et al. Effect of different vegetation restoration on soil water storage and water balance in the Chinese Loess Plateau[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2015, 206: 85-96.
[18] 常学向, 赵爱芬, 王金叶. 祁连山林区大气降水特征与森林对降水的截留作用[J]. 高原气象, 2002, 21(3): 274-280. [CHANG Xuexiang, ZHAO Aifen, WANG Jinye, et al. Precipitation characteristic and interception of forest in Qilian Mountain[J]. Plateau Meteorology, 2002, 21(3): 274-280.]
[19] 岳祥飞, 崔建垣, 张铜会, 等. 科尔沁沙地黄柳灌丛降雨截留与再分配特征[J]. 草业学报, 2013, 22(6): 46-52. [YUE Xiangfei, CUI Jianyuan, ZHANG Tonghui, et al. Characteristics of rainfall interception and redistribution for Salix gordejeviiin Horqi Sandy Land, northeast China[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(6): 46-52.]
[20] 吴晓成, 张秋良, 臧润过, 等. 额尔齐斯河天然杨树林叶面积指数及比叶面积的研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(4): 10-15. [WU Xiaocheng, ZHANG Qiuliang, ZANG Runguo, et al. Leaf area index and specific leaf area of natural poplars in Ertix Basin[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(4): 10-15.]
[21] 赵传燕, 沈卫华, 彭焕华. 祁连山区青海云杉林冠层叶面积指数的反演方法[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 860-869. [ZHAO Chuanyan, SHENG Weihua, PENG Huanhua. Method for determining canopy leaf area index of *Picea crassifolia* forest in Qilian Mountain, China[J]. Journal of Plant Ecology, 2009, 33(5): 860-869.]
[22] TARMO Timm, KOLLI Kangur, HENN Timm, et al. Macrozoobenthos of Lake Peipsi-Pihkva: Taxonomical composition, abundance, biomass, and their relations to some ecological parameters[J]. Hydrobiologia, 1996, 338: 139-154.
[23] LESER. T D Validation of microbial community structure and ecological functional paramenters in an aquatic microcosm designied for testing genetically engineered microorganisms[J]. Microb Ecol, 1995, 29: 183-201.
[24] 梁倍, 邸利, 赵传燕, 等. 祁连山天涝池流域典型灌丛地上生物量沿海拔梯度变化规律的研究[J]. 草地学报, 2013, 21(4): 664-669. [LIANG Bei, DI Li, ZHAO Chuanyan, et al. Altitude distribution of aboveground biomass of typiacal shrubs in the Tianlaochi Watershed of Qilian Mountains[J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(4): 664-669.]
[25] 李文娟, 赵传燕, 彭守璋, 等. 黑河上游天涝池流域灌丛地上生物量空间分布[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 1134-1141. [LI Wenjuan, ZHAO Chuanyan, PENG Shouzhang, et al. The spatial distribution of the aboveground biomass shrub in Tianlaochi catchment in the upper reaches of Heihe River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(4): 1134-1141.]
[26] 雷蕾, 刘贤德, 王顺利, 等. 祁连山高山灌丛生物量分配规律及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1602-1607. [LEI Lei, LIU Xiande, WANG Shunli, et al. Assignment rule of alpine shrubs biomass and its relationships to environmental factors in Qilian Mountains[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(11): 1602-1607.]
[27] GAYDAROVA Plamena Nikolova. Deciduous forest communities in the Black Sea coastal Strandzha region: Temporal and spatial characteristics of leaf area index and density[J]. Trees, 2003, 17: 237-243.
[28] BLUMEL Birgit, REIMER Eberhard. Validation of boundary layer parameters of climate model REMO: Estimation of leaf area index from NOAA-AVHRR data for the Baltimos region[J]. Theor Appl Climatol, DOI 10.1007/s 00704-009-0164-3.
[29] 苏宏新, 白帆, 李广起. 3类典型温带山地森林的叶面积指数的季节动态: 多种监测方法比较[J]. 植物生态学报, 2012, 36(3): 231-242. [SU Hongxin, BAI Fan, LI Guangqi. Seasonal dynamics in leaf index in three typical temperate montane forests of China: A comparison of multi-observation methods[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(3): 231-242.]
[30] 柳艺博, 居为民, 陈镜明, 等. 2000—2010年中国森林叶面积指

数时空变化特征[J]. 科学通报,2012,57(16):1435 - 1445. [LIU Yibo,JU Weimin,CHEN Jingming,et al. Spatial and temporal variations of forest *LAI* in China during 2000—2010[J]. Chinese Scinece Bull,2012,57(16):1435 - 1445.]

[31] VAN L M,NIEUWENHUIS M. Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing[J]. European Journal of Forest Research. 2010,129(4):749 - 770.

[32] 骆社周,王成,张贵宾,等. 机载激光雷达森林叶面积指数反演研究[J]. 地球物理学报,2013,56(5):1467 - 1475. [LUO Shezhou,WANG Cheng,ZHANG Guibin,et al. Forest leaf area index(*LAI*) inversion using airborne LiDAR data[J]. Chinese Journal of Geophysics,2013,56(5):1467 - 1475.]

[33] 李文娟,赵传燕,别强,等. 基于机载激光雷达数据的森林结构参数反演[J]. 遥感技术与应用,2015,30(5):917 - 924. [LI Wenjuan,ZHAO Chuanyan,BIE Qiang,et al. Retrieval of the forest structural parameters using airborne LiDAR data[J]. Remote Sensing Technology and Application,2015,30(5):917 - 924.]

[34] 靳华安,刘殿伟,王宗明,等. 三江平原湿地植被叶面积指数遥感估算模型[J]. 生态学杂志,2008,27(5):803 - 805. [JIN Huaan,LIU Dianwei,WANG Zongming,et al. Remote sensing estimation models of wetland vegetation *LAI* in Sanjiang Plain[J]. Chinese Journal of Ecology,2008,27(5):803 - 805.]

[35] 周梦维,柳钦火,刘强,等. 机载激光雷达的作物叶面积指数定量反演[J]. 农业工程学报,2011,27(4):207 - 213. [ZHOU Mengwei,LIU Qinhuo,LIU Qiang,et al. Inversion of leaf area index based on small-footprint waveform airborne LiDAR[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2011,27(4):207 - 213.]

Ecological parameters of a typical shrub in Tiaolaochi catchment in the upper reach of Heihe River

LI Wen-juan[1], HUANG Li-ping[2], ZHAO Chuan-yan[3], HU Dong-yu[2], WANG Qing-tao[4]

(1 *Government Office of Dabancheng District*, *Urumqi* 830000, *Xinjiang*, *China*;

2 *Institute of Modern Forestry*, *Xinjiang Academy of Forestry Science*, *Urumqi* 830000, *Xinjiang*, *China*;

3 *State Key Laboratory of Grassland and Agro-Ecosystem*, *College of Pastoral Agriculture Science and Technology*, *Lanzhou University*, *Lanzhou* 730000, *Gansu*, *China*;

4 *College of landscape and Ecological Engineering*, *Hebei University of Engineering*, *Handan* 056038, *Hebei*, *China*)

Abstract: Qilian Mountains is the water conservation area of the Heihe River, Shiyang River and Shule River in northwest China. The Heihe River as the second longest inland river in China has been paid more attention due to its eco-environmental problems. These problems include the continuous decrease in the discharge water of the Heihe River, desertification, salinization and the increase of sand storms. Therefore, a series of conservation programs have been conducted for ecological environmental restoration in Qilian Mountains, especially in the upper reaches of the Heihe River. We selected Tianlaochi catchment in the upper reaches of the Heihe River as the study area and investigated the ecological parameters (i. e. , leaf area, leaf area index, specific leaf area) of a typical shrub species (*Dasiphora fruticosa*, *Caragana jubata*) during its growing period. Firstly, the investigation was carried out from May to September in 2014 and 2015. Secondly, we used the remotely sensed data, such as airborne LiDAR (Light Detection and Ranging) and high-resolution remote sensing image (Geoeye-1), to obtain the spatial distribution of shrub leaf area index. The results showed that the specific leaf area was fluctuated during the growing period. The leaf area and leaf area index of shrub were changed obviously, with a significant increase in June and July. However, the result tended to be stabilized in August. The leaf of shrub began to fall in September. With different hydrothermal conditions along the elevation gradient, the spatial distribution of leaf area index presented a great variety. The leaf area index of shrub was increased with the increase of elevation from 3 200 meter to 3 400 meter, nevertheless, it was decreased with an increase of elevation from 3 400 meter to 3 750 meter. The variation of leaf area index with elevation resulted from the combination of the precipitation and temperature. The retrieved parameters will provide inputs for the distributed eco-hydrological model built in the subsequent research.

Key words: the upper reaches of Heihe River; shrub; growing period; ecological parameters